

Kutatási zárójelentés

OTKA T042802: A triász végi kihalás és környezetváltozások oknyomozó vizsgálata

Témavezető: Pálffy József

Bevezetés

A triász végi kihalás és környezetváltozások oknyomozó vizsgálata időszerű kutatási témának bizonyult, melyben az OTKA támogatásával sokoldalú vizsgálatokat végeztünk és nemzetközileg is jegyzett eredményeket értünk el. A kutatás szorosan kapcsolódott a nemzetközi IGCP 458 projekthez (*Triassic-Jurassic boundary events*) melynek az OTKA témavezető egyidejűleg egyik társ-projektvezetője volt. Az IGCP projekt zárókonferenciáját Magyarországon rendeztük meg, lehetőséget adva a hazai lelőhelyek és addig elért eredményeink bemutatására [1]. Részt vettünk az IGCP projekt eredményeit közlő kötet szerkesztésében [2], itt jelent meg a legfontosabb hazai szelvény vizsgálatát összegző dolgozatunk [3] és a triász/jura (T/J) kutatások naprakész összefoglalása is [4].

Kutatásaink során hazai és külföldi T/J határszelvényekben végeztünk terepi szelvény-felvételt és mintagyűjtést őslénytani, rétegtani, szedimentológiai, geokémiai és geokronológiai vizsgálatokhoz. A tanulmányozott hazai szelvények közül kiemelkedő jelentőségű a Csővár melletti Vár-hegy, amely intraplatform medence rétegsorát tárja fel. A Bakony területére jellemző karbonátos platform rétegsorok közül Kőris-hegy felszíni szelvényét és két fúrási szelvényt (Zirc Zt-62 és Sümeg Süt-28) vizsgáltuk. A teresztrikus mecseki rétegsorok közül a felszíni szelvényeknél (Pécs-Karolinavölgy külfejtés, Lámpás-völgy) a palinológiai vizsgálatokhoz hasznosabbnak bizonyult két szénkutató mélyfúrás (Komló K-137 és K-176), míg geokronológiai adatot a Pécs-Vasas melletti külfejtésből nyertünk.

Külföldön a klasszikusnak számító ausztriai Kendelbachgraben mellett Tibetben Germig szelvényét vizsgáltuk behatóan. Kanadában a Queen Charlotte Islands-en végeztünk terepi munkát határszelvényben, míg korábban gyűjtött hettangi (legalsó jura) anyagot vizsgáltunk a Taseko Lakes környékéről, Alaszkából (Puale Bay), illetve az erdélyi Alsórákosról.

A kutatói csapatba a projekt résztvevőin kívül más hazai és külföldi kollégák is bekapcsolódtak. A következő kollégákkal történt együttműködés számottevően hozzájárult eredményeinkhez: Görög Ágnes, Hetényi Magdolna, Márton Emő, Piros Olga, Szeitz Péter, Vető István, külföldről Tomas Robert (Románia), Annette Götz és Kathryn Ruckwied (Németország), Elizabeth Carter, Roland Mundil (USA), Richard Friedman, Louise Longridge, Mike Orchard, Paul Smith (Kanada), és Jiarun Yin (Kína).

A projekt célkitűzéseinek túlnyomó részét sikerült teljesíteni. A triász végi kihalást követő hettangi ammonitesz faunák feldolgozásával az eredeti tervet meghaladó mértékben foglalkoztunk. Az elért eredmények közül még nem sikerült mindent publikálni, egyes területeken csak konferencia előadáson mutattuk be az előzetes eredményeket és a kéziratok elkészítése még folyamatban van. A már megjelent és a közleményjegyzékben felsorolt eredményeken kívül az alábbi témákban várható 2008-ban folyóiratcikkek kéziratának beadása:

- a csővári határszelvény foraminifera-faunájának leírása,
- T/J határ a bakonyi platform rétegsorokban,
- a T/J határt harántoló mecseki fúrások palinológiai vizsgálata,
- mecseki növénymaradványok sztómasűrűség-vizsgálata,
- Kendelbachgraben T/J határszelvényének geokémiai vizsgálata,
- U-Pb kormeghatározások a T/J határról kanadai, alaszka és magyarországi minták alapján.

A legfontosabb elért eredményeket az alábbiakban kutatási terület alapján és tematikus csoportosításban ismertetjük.

Vizsgálatok hazai szelvényekben

A csővári triász/jura (T/J) határszelvény integrált sztratigráfiai vizsgálata

Szedimentológia és medencefejlődés [5]

A csővári Vár-hegy oldalában korábban kialakított árkolás és a természetes kibukkanások pelágikus fáciesű, folyamatos T/J határszelvényt tárnak fel. A késő triászban a terület a Dachstein platform-rendszer medence felőli szegélyén helyezkedett el, ahol a platformot intraplatform medencék tagolták, melyek egyikét képviseli a csővári rétegsor. Szedimentológiai és mikrofácies vizsgálataink alapján rekonstruáltuk medencefejlődést és a relatív tengerszintváltozások történetét. Az előtéri lejtő, lejtőlábi és medencefáciesek szukcessziója alapján a hosszú periódusú (másodrendű) változásokra rövidebb (harmad- és negyedrendű) ciklusok rakódnak. A késő nóri nagyvízi platform progradáció után a rhaeti elején vízszintsüllyedést jelez a növényi törmelék és szárazföldi eredetű sporomorfák felszaporodása. Ekkor a platform jelentős része szárazra kerülhetett. Az újrainduló transzgresszió során kisebb szegélyzátonyok jöttek létre a korábbi előtéri lejtőn. A lejtőkön megtelepülő krinoidea mezők szolgáltatották a medencébe zúduló meszes turbiditok bioklasztanyagát. A mélyülés további jele a litoklasztos törmelékfolyások (debris-flow), proximális és disztális turbiditok, és a radiolariás medencefácies megjelenése a rhaeti-hettangi szelvényt szakaszban, amelyben méteres nagyságrendű, fölfelé mélyülő ciklusok is észlelhetők. A T/J határ alatt kb. 10 m-rel, a legutolsó rhaeti ciklus alján a bioklasztok mennyiségének drasztikus csökkenése már a kihalás számlájára írható. A határeseményekhez köthető geokémiai változások e ciklus tetején, radiolariás medencefáciesű rétegekben nyomozhatók. Egy vékony litoklasztos réteg kivételével a laminitok uralják a következő szakaszt. A kora hettangi első jelentős fáciesváltása az átülepített onkoidos *grapestone* szövetű mészkőpadok megjelenése, melyek a sekélytengeri karbonátgyár túlélését vagy újraeledését jelzik a környező platformon. A hettangi magasabb részében az általános mélyülő tendencia folytatódása figyelhető meg.

Biosztratigráfia és stabil izotóp kemosztratigráfia [3]

A csővári szelvény a viszonylag kisszámú folyamatos tengeri T/J határszelvények egyike, ezért a sokoldalú, integrált sztratigráfiai vizsgálatoktól a medencefejlődés megismerésén kívül a T/J határesemények jobb megismerését is vártuk. A határ helyzetét biosztratigráfiai módszerekkel rögzítettük egy kb. 10 m-es intervallumban. A radiolaria fauna markáns kicserélődést mutat a késő rhaeti *Globolaxtorum tozeri* zónába és a kora hettangi alpi *Relanus hettangicus* vagy pacifikus *Canoptum merum* zónába sorolható rétegek között. A bentosz foraminiferák között kisebb arányú a kihalás és fajkicserélődés. A konodonta fajok egymásutáni eltűnése alapján a késő rhaeti *Misikella posthersteini* és *M. ultima* zónák jól elkülöníthetők, rögzítve a konodonták diverzitásának és gyakoriságának markáns csökkenését. Ennek ellenére elszórt túlélőket a hettangi legalsó részében is találtunk. A szelvényben az ammoniteszek ritkák és nem jó megtartásúak. Mindössze kb. 30 példány került elő, ezek azonban lehetővé teszik a zónaszintű tagolást. A szelvény alsó 10 m-ében *Choristoceras* különböző fajai és *Cladiscites* fordulnak elő, a legfelső triász Marshi Zónát jelezve. Törmelékből a T/J átmeneti rétegekből került elő a legalsó jurára jellemző *Nevadaphyllites* cf. *psilomorphum* egy példánya. A legmélyebb helyzetű, szálban álló rétegből gyűjtött hettangi ammonitesz egy közelebbiről meg nem határozható Psiloceratida a szelvény bázisa felett 30 m-rel. Törmelékből, kb. 5 m-rel feljebből származik egy *Pleuroacanthites* nemzetséghez sorolható példány, mely a genus elterjedése alapján a Planorbis vagy Liassicus zónát jelezheti. A feltárt szelvény tetején, kb. 20 m-rel az izotópos vizsgálatra begyűjtött szelvényt szakasz felett talált *Waehneroceras* sp. a hettangi középső

zónáját jelzi. A mikro- és makrofaunában észlelt kihalás egybevág a biogén alkotórészek arányának csökkenésével a mikrofáciesben.

A bentosz és plankton bióta hanyatlását számottevő negatív szénizotóp-anomália kíséri. A már korábban kimutatott csúcs környékén sűrített mintavétellel nagyfelbontású $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ és $\delta^{18}\text{O}$ görbét vettünk fel. A diagenetikusan felülírt értékek kiszűrése után ebben rövid periódusú oszcilláció figyelhető meg. A C és O izotóparányok korrelációt mutatnak és elsődleges változásokra utalnak. Az oxigénizotóp-arány változásainak hátterében jelentős felmelegedés állhat, míg a szénizotóp-arány változásaiért a szénkörforgás globális és hirtelen megváltozása lehet felelős. Ennek legvalószínűbb kiváltója a magasabb hőmérsékleten beinduló gázhidrát disszociáció és metán felszabadulás lehetett. A globális felmelegedés beindulása hipotetikusan az egyidejűleg zajló Közép-Atlanti Magmás Provincia (KAMP) vulkanizmusához köthető. Csőváron az észlelt biotikus és geokémiai események egyetlen rövid üledékcikluson belül zajlottak, de a korábban sok kutató által favorizált tengersizváltozás nem játszhatott nagy szerepet ezek előidézésében. A T/J határhoz kötődő krízis rövid, de nem pillanatszerű esemény lehetett.

Palinofácies [6]

A csővári szelvény palinofácies vizsgálatát azzal a céllal kezdeményeztük, hogy a határ körüli klímaváltozás megismeréséhez nyerjünk további adatokat. A fitoklasztok dominanciája mellett jellegzetes rhaeti és hettangi sporomorfa együttest lehetett megfigyelni. A leginkább figyelemre méltó a prasinophyta algák és trilét spórák részarányának együttes megugrása a határintervallumban. A palinofácies-görbe alga- és páfránycsúcsa egyben jól korrelál a szénizotóp-anomáliával is. Ez a megfigyelés a tengeri és a szárazföldi növényvilág egyidejű változására utal, amely ráadásul (de nem meglepő módon) tehát a szénkörforgás zavarával is egybeesik. Ezt a jelenséget a T/J határról máshonnan még nem írták le, de véleményünk szerint a tengeri és szárazföldi rétegsorok korrelációjában máshol is használható lesz. Eredményünk azt is igazolja, hogy a T/J határeseemények egyidejűleg hatottak a tengeri és a szárazföldi ökoszisztémára.

A T/J határ a dunántúli karbonátos platform-rétegsorokban [7]

A Dunántúli-középhegységben a felső triász karbonátplatform felső részét a Dachsteini Mészkő többszáz méter vastag rétegsora képviseli. A Gerecsében és a tatai horszton a T/J diszkordancia csonkolja a rhaeti legfelső részét, arra üledékhézaggal települnek a mélyülő tengeri környezetet jelző hettangi képződmények. A korábbi kutatási és térképezési adatok szerint folyamatos vagy közel folyamatos T/J határszelvényekre a Bakonyban számíthattunk, ahol a Dachsteini Mészkőre a szintén sekélytengeri platform környezetben leülepedett Kardosréti Mészkő települ. A vizsgálatainkat a Kőris-hegy oldalában ismételten megárgokolt felszíni szelvényre és a Zirc Zt-62 és Sümeg Süt-fúrás szelvényeire összpontosítottuk.

A formációk litosztratigráfiai határa egybeesik a T/J határral. Ennek biosztratigráfiai megvonására a rhaetiben gyakori *Triasina hantkeni* formanifera faj eltűnése alkalmas. Egybeesik ezzel a kísérő foraminifera társulás kicserélődése és a Dasycladacea mészalgák (*Gyroporella vesiculifera*, *Griphoporella curvata*, *Salpingoporella humilis*) eltűnése. Ugyancsak dokumentálható a vastaghéjú Megalodontida kagylók kimaradása. A stabilizotóp-elemzések eredményei sem a Kőris-hegyről, sem a fúrás szelvényekben nem mutatták a Csővárról és világszerte számos lelőhelyről megismert negatív $\delta^{13}\text{C}$ anomáliát. A Kőris-hegyi szelvényben a T/J határon mikrorelieffel jellemezhető keményfelszín mutatható ki. Ezek alapján valószínűsíthető, hogy a bakonyi platform átmenetes szelvények nem folyamatosak, hanem ismeretlen hosszúságú, de legalább az izotóp anomália idejét magába foglaló

üledékhézagot tartalmaznak. Ennek okait kutatva a platform szárazra kerülésére nem találtunk bizonyítékot, valószínűbb ezt átmeneti kimélyüléssel és tenger alatti erózióval vagy visszaoldódással magyarázni. Az utóbbi forgatókönyv igazolása megerősítheti a karbonátkiválasztási krízis elméletet, mely szerint a légköri vulkáni eredetű CO₂ növekedés és felmelegedés a tengervíz CaCO₃ telítetlenségéhez vezetett. Ez pedig szerepet játszhatott a mészvázú szervezetek kihalásában, illetve a karbonátos üledékhézag létrejöttében.

A T/J átmenet és a legelső jura a mecseki széntelepes összletben

Palinológiai vizsgálatok [8]

A Mecsek terresztrikus rétegsoraiban a triász/jura határ megvonása palinológiai alapon történhet, és a vizsgálatok egyben lehetővé teszik a környezettörténet rekonstruálását és annak megválaszolását, észlelhető-e jelentős lokális kihalás a növényvilágban. A Komló környéki K-137 és K-176 szénkutató fúrások palinológiai vizsgálata nagy diverzitású késő rhaeti és hettangi együttest tart fel. Ezek segítségével a határ megvonható, de jelentős kihalás nem mutatkozik. Figyelemre méltó viszont a folyóvízi/delta, illetve mocsári környezetek rövidtávú és ciklikus váltakozása. Emellett a klíma humidra fordulását a trilét spórák arányának növekedése jelzi.

Paleobotanikai vizsgálatok

Mivel a T/J határhoz köthető változások között klímaváltozásra, globális felmelegedésre utaló jeleket is találunk, az egykori atmoszféra összetételére, ezen belül főleg a CO₂ koncentrációra vonatkozó adatok kiemelkedő jelentőségűek. A mecseki makroflóra leletek alapján a kihalás utáni talpraállás időszakának, a hettanginak a *p*CO₂ rekonstrukciójára tettünk kísérletet. Kihasználva, hogy a gázcsereenyílások sűrűsége függ a *p*CO₂-től, a *Ginkgoites marginatus* mecseki és dél-svédországi lelőhelyekről származó levelein sztómaindex és sztómaindex számolást és számítást végeztünk. A két terület nagyjából egykorú levélmintái statisztikailag egyező paramétereket adtak. Ezek alapján a sztómaindex átlagértéke ~5, melyből más szerzők adatait felhasználva magas, 1000–1500 ppm közötti *p*CO₂ érték, azaz erős üvegházhatás alatt álló, meleg klíma valószínűsíthető. Ezek az adatok jól beilleszthetők a közelmúltban kifejlesztett paleoatmoszferikus modellekbe.

U-Pb kormeghatározás [9]

A T/J határ körüli események kronológiájához, illetve a folyamatok sebességének becsléséhez nélkülözhetetlen a pontosan kalibrált geológiai időskála. A kihalás utáni kora jura talpraállás időtartamának behatárolásához nem állt rendelkezésünkre elegendő koradat a hettangit követő szinemuri emeletből. A Pécs-Vasas melletti szénkölfejtés tárja fel legjobban a Mecseki Kőszén Formációba települő egyetlen vulkáni tufaképződményt, amelyből mintát véve sikerült U-Pb kormeghatározásra alkalmas cirkon kristályokat leválasztani. A tufa korát a ma legpontosabbnak tartott, egykristályos, kémiai abrázíós előkezelés utáni termikus ionizációs tömegspektrometriával (CA-TIMS) határoztuk meg 198,0 ± 0,6 Ma-nak. Ez az eredmény jól alkalmazható a jura időskála további pontosításában és azt igazolja, hogy a triász végi kihalás utáni kora jura talpraállás viszonylag gyors folyamat volt, gyorsabb mint a kora triászban, a perm végi krízist követően lezajlott hasonló esemény.

Vizsgálatok külföldi szelvényekben

Ammonitesz faunaváltás a T/J határon a Keleti-Tethysben egy tibeti szelvény alapján [10]

A Tethys keleti részéből korábban nem ismertünk triász–jura határszelvényt. A Tibet déli részén, Germig falu közelében az elmúlt években felfedezett, folyamatosan feltárt és általunk is gyűjtött szelvényből késő triász és kora jura ammoniteszek kerültek elő, amelyek alapján a T/J határ megvonható. Összesen 18 fajt különítettünk el, közülük négyet új fajként írtunk le, melyek a következők: *Choristoceras nyalamensis*, *Eopsiloceras germigense*, *Neophyllites bloosi* és *Psiloceras tibeticum*.

Az ammonitesz fauna jelentős hasonlóságot mutat az Északi-Mészkőalpok hasonló korú faunáival, bár az Alpokban a legidősebb jurát képviselő hettangi Calliphyllum Zóna diverzitása Tibetben alacsonyabb. A vizsgált tibeti szelvény négy ammonitesz zónára bontható: a Marshi, Tibeticum, Calliphyllum és Pleuronotum zónák sorrendben a rhaeti (felső triász), a legelső, alsó és középső hettangi (alsó jura) emeleteket képviselik. Ehhez hasonló teljességű, ammoniteszekkel igazolt, nem kondenzált T/J határszelvényt a Keleti-Tethys területéről korábban nem ismertünk. A Marshi és a Calliphyllum zónák egyértelműen korrelálhatók a Nyugati-Tethyshez tartozó alpi területek megegyező zónáival. A Tibeticum Zónát újonnan vezettük be, mint a Marshi és a Calliphyllum zónák közötti helyi biosztratigráfiai egységet. A zóna érdekessége, hogy egyaránt tartalmazza a hagyományosan késő triász korúnak tekintett *Choristoceras* és a kora jura *Psiloceras* nemzetségek képviselőit. A Keleti-Tethysben mostani ismereteink szerint e zóna bázisánál célszerű megvonni a triász–jura határt. A szelvény további jelentősége a gazdag kagylófauna, amely a triász végi kihalás értelmezéséhez is szolgáltathat új adatokat.

Ammonitesz vizsgálatok kanadai lelőhelyekről

A Queen Charlotte-szigetéről két fontos T/J határszelvényt ismerünk (Kunga-sziget és Kenecott-fok) melyek együtt Kanada legnagyobb diverzitású hettangi ammonitesz faunáját szolgáltatják. Ennek feldolgozása során 53 fajt írtunk le, köztük a *Paradasyceras carteri* és a *Transipsiloceras charlottensis* új fajokat képviselnek [11]. Az Észak-Amerikára korábban kidolgozott ammonitesz zonációt alkalmazva a Mulleri és Occidentalis zónákat, illetve a Mineralense és Rursicostatum zónákat nem lehetett elkülöníteni, ezeket egy-egy egységként kezeltük. A fauna jól korrelálható nemcsak Észak-Amerika más területeivel, de Dél-Amerika, Új-Zéland, a Nyugati- és Keleti-Tethys ammoniteszes rétegsoraival is. A Queen Charlotte-szigeteket is magába foglaló Wrangellia térségében a hettangi során a Kelet-Pacifikumban az északi féltekén helyezkedett el, de azóta a lemeztektonikai mozgások által több ezer kilométeres északi eltolódást szenvedett.

A középső és késő hettangi endemikus kelet-pacifikus ammonitesz nemzetsége a gyakori előfordulású *Sunrisites*. Nyugat-Kanadában a legnagyobb diverzitású és legjobb megtartású *Sunrisites* együttes a Taseko-tavak környékéről ismert. Ennek első alapos leírását adtuk, melynek során három új fajt vezettünk be, *S. brimblecombei*, *S. chilcotinensis* és *S. senililevis* néven [12]. Mindegyik fajnál kimutatható a szexuális dimorfizmus, így a nemzetség az e karaktert mutató legkorábbi jura alakok közé tartozik.

Kora jura ammoniteszek Erdélyből [13]

A Persány-hegységben az Alsórákos határában fekvő Tepő- vagy Töpe-patak völgy a XIX. sz. közepe óta ismert, gazdag kora jura ammonitesz lelőhely. Ammoniteszes vörös mészkő olisztolit szolgáltatja azt a leletanyagot, amelynek alapján 6 szerző 24 új fajt és 13 új

alfajt írt le 1866 és 1953 között. Mivel ez a nyugat-tethysi térség egyik leggazdagabb kora jura ammonitesz együttese, elvégeztük a típusanyag revízióját. A munka jelentőségét növeli, hogy az innen leírt, általunk revideált fajok között négy ammonitesz nemzetség típusfaja is szerepel. Ezek között a legnagyobb nevezéktani zavar a *Tragolytoceras* nemzetséget övezte, melyet a *T. bonarellii* n. sp. bevezetésével és új típusfajjá történő kinevezésével javsoltunk feloldani [14]. A klasszikus lelőhely közelében egy másik olisztolitból réteg szerinti új gyűjessel sikerül új rétegtani adatokat nyújtani a hettangi-szinemuri ammonitesz fauna ismeretéhez.

Kora jura flóra Alaszkából [15]

Az alaszakai Puale-öbölben a Kamishak Formáció középső hettangi (alsó jura) rétegeiből ősnövénymaradványok, főként levelek és leveles hajtások kerültek elő. Ezekben a tengeri rétegekben gyakoriak az ammoniteszek, melyek pontos biosztratigráfiai korbesorolást tesznek lehetővé. Ez az új lelőhely jelenti az első olyan jura ősnövény előfordulást Alaszkában, ahol a kutikula is megőrződött. A meghatározások alapján a három nemzetség négy faja három különböző nyitvatermő csoportba tartozik. A leírt fajok a következők: *Otozamites mimetes* és *O. tenuatus* (Bennettitales), *Brachyphyllum crucis* (Coniferales), valamint egy új faj, *Sagenopteris pualensis* (Pteridospermophyta). A maradványok makro- és mikromorfológiai vizsgálata xeromorf bélyegeket mutatott ki, melyek vagy száraz környezethez, vagy az átlagosnál magasabb sótartalmú talajhoz való alkalmazkodásként értelmezhetők. Az utóbbi magyarázatot tartjuk valószínűbbnek, mivel az olyan tengerparti élőhelyekhez való alkalmazkodást feltételez, ahol halofita, mangrove-típusú vegetáció élhetett. Az új faj eddig csak Alaszkából ismert, míg a másik három taxon a középső jura Yorkshire-i flórában is előfordul, azon kívül viszont máshonnan nem kerültek elő. A Puale-öbölből leírt flóra paleoklimatológiai és ösföldrajzi értékelése adatokat szolgáltat a "Peninsular" (Alaszka-félsziget) térség tektonikai fejlődéstörténetét leíró modellek számára. A paleobotanikai eredmények a kora jura Talkeetna vulkáni szigetív alacsony földrajzi szélességű elhelyezkedését erősítik meg. A növényfajok elterjedéséből következik, hogy a térségnek legkésőbb a középső jurára már az észak-amerikai kontinens közelében kellett lennie.

U-Pb kormeghatározások [16]

Mint korábban láttuk, a T/J határ körüli események kronológiája, illetve a folyamatok sebességének becslése csak pontosan kalibrált geológiai időskála segítségével adható meg. A legfrissebb geológiai időskálában (GTS2004) prominens szerepet kaptak korábbi U-Pb koradataink: 199.6 ± 0.4 Ma mint a T/J határ közvetlen kora a Kunga-szigeti rétegsor tufabetelepüléséből, illetve $200.4 +2.7/-2.8$ Ma egy középső hettangi tufaréteg koraként az alaszakai Puale-öbölből. Mindkét adat sűrített levegős koptatásnak alávetett többkristályos frakciók méréséből származik. Az U-Pb módszer fejlődésével ma ezeket csak minimum koroknak tekintjük, és a pontosításukra a kémiai abráziós, egykristályos CA-TIMS módszer alkalmazásával tettünk kísérletet. A Kunga-szigeti minta újramérésével 11 egykristály $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ korának súlyozott átlaga 201.7 ± 0.6 Ma-nek adódott. Ezt tekinthetjük tehát a T/J határ revideált korának. Ez az eredmény egybevág más kutatók 2008-ban Peru-ból publikált adataival. Az alaszakai mintából 16 egykristály medián $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ kora $200.8 +0.6/-0.4$ Ma.

Ezek az előzetes adatok igen jelentősek. Egyrészt a tengeri kihalási esemény és a KAMP vulkanizmus időbeli egyidejűségének új, megbízhatóbb bizonyítékát jelentik, másrészt megerősítik azt a fentiekben már bemutatott eredményt, hogy a triász végi kihalás utáni talpraállás rövid időt vett igénybe. A kora hettangi időtartama nem haladta meg az 1 Ma-t. A Queen Charlotte-szigetek rhaeti-hettangi szelvényeiből vett további mintáink elemzése folyamatban van, ezektől a T/J határ körüli időskála további finomítása várható [17].

Nyomelem geokémia Kendelbachgraben szelvényében

A triász végi vulkanizmushoz, éghajlatváltozáshoz, és esetleges tengeri anoxiához köthető kihalást magyarázó elméleteket nyomelem-geokémiai módszerekkel is megkíséreltük tesztelni. Ehhez az általunk vizsgált T/J szelvények közül az ausztriai Kendelbachgraben volt a legalkalmasabb. A redox-jelző elemek (Mo, Cd, U, Th, Mn) alapján a rhaeti Kösseni Formáció anoxikus. A hettangi Kendelbach Formáció kevésbé oxigénszegény, kivéve a „határmárga” alsó 10 cm-es szakaszát. A kéntartalom a szelvényben alacsony, egyedül a „határmárga” alsó felében, valamint két vastagabb agyagosabb márgarétegben emelkedik 0,5% fölé. Ezt valószínűleg a rétegek pirittartalma okozza, ami redukív viszonyokat tükröz az üledékekben, de nem jelent feltétlenül anoxikus fenékvizet.

A „határmárga” alsó szakaszán a ritkaföldfémek (RFF) mennyisége közel egy nagyságrenddel megugrik, párhuzamosan a jelentősen megemelkedő foszfortartalommal. A pozitív RFF anomália valószínűleg a jelentős foszfortartalom következménye.

A cérium tartalom a karbonátos kőzetek karbonátjában közvetlen összefüggésben van a tengervíz Ce tartalmával, ami jó indikátora az oxikus-anoxikus viszonyoknak. Az anomália mértékét Ce/Ce^* hányadosával lehet számszerűsíteni (ahol $Ce/Ce^* = C_{Ce}/(C_{La} \cdot C_{Pr})^{1/2}$; X_N : kondritra normált értékek). Ezek alapján a szelvény álagos Ce/Ce^* értéke 0,63, ami nem utal anoxikus tengervízre. Ezen belül negatív anomália (0,43) mutatkozik a „határmárga” alsó 30 cm-ében, ami még inkább jól szellőzött fenékvizet jelez. Ez az anomália a leghangsúlyosabb abban a mintában, ahol a fentiek alapján az RFF-eket nem csak a karbonát tartalmazza, így ennek redox értelmezését nem lehet feltétel nélkül elfogadni.

Az Si-, Al- és CO_3 -tartalom vizsgálatával a szelvényben a sziliciklaszt mennyiségének változása követhető nyomon. A sziliciklaszt döntő részét a detritális kvarc és az agyagásványok teszik ki. A kvarc és az agyagtartalmat az Si-tartalommal, míg az agyagásványok mennyiségét ezen belül az Al-tartalommal jellemezhetjük. A Kösseni Formációból fölött a „határmárgában” a sziliciklaszt mennyisége jelentősen megnő, itt éri el maximumát, majd a szelvényben felfelé fokozatosan csökken. Az agyagtartalom és detritális kvarc aránya a „határmárgában” a legmagasabb, majd a felfelé fokozatosan tolódik el a kvarc javára. Az agyag és kvarc abszolút- és egymáshoz viszonyított mennyiségének változása az egykori klimatikus viszonyokra és a behordási körülményekre utal. Ezek alapján feltételezhető, hogy a „határmárga” keletkezésekor igen intenzív volt a mállás és a lehordódás, ami csapadékos klímát jelez. A sziliciklaszt teljes mennyisége a szelvényben felfelé fokozatosan csökken, ami egyrészt jelezheti a csapadékosabb időszak végét és/vagy a partvonal távolabbra kerülését (transzgressziót). Az RFF-ek alapján nem változik meg a lehordási háttér a szelvényben. A fenti eredmények jól magyarázhatók a T/J határon feltételezett „kalcifikációs krízissel”, valamint többek által feltételezett „szuper-üvegház” eseménnyel, amely igen jelentős mállást és eróziót eredményezhetett a T/J határon.

Összegzés [18]

A magyarországi triász–jura határszelvények között a csővári Vár-hegy a legjelentősebb. A T/J határ megvonását ammonitesz, radiolaria, foraminifera és konodonta biosztratigráfiai vizsgálatokkal támasztottuk alá. A triász végi kihaláshoz kapcsolódó stabil izotópos fejlődéstörténet jóval kevésbé volt ismert, mint a többi nagy fanerozoós kihalási eseményé, melyekre igazolták a biológiai krízisek és a globális szénkörforgás zavarának egybeesését. A csővári triász–jura szelvényben közvetlenül a határ alatt, a legfelső triász karbonátrétegek szénizotóp összetételében ($\delta^{13}C_{carb}$) éles, oszcilláló és rövid ideig tartó, –3,5‰-es, egyidejűleg a tengeri szervesanyagban ($\delta^{13}C_{org}$) is jelentkező –2‰-es kiugrást sikerült kimutatni.

A csővári határszelvény geokémiai adatainak értelmezésére többféle magyarázat adható. Elismerve a vulkáni kigázosodás, illetve az elsődleges produktivitás csökkenésének lehetséges hozzájárulását, valószínűsíthető, hogy a negatív szénizotóp anomáliát előidéző legjelentősebb tényező a tengeraljzaton eltemetett gáz-hidrát disszociációjából származó metán felszabadulása lehetett. Ez a közelmúltban több más rendkívüli klimatikus esemény, illetve nagy negatív szénizotóp anomália értelmezésére alkalmazott modell adaptálását jelenti. A tengeri és szárazföldi ökoszisztémák egyidejű változását a palinofáciesben az izotóp anomáliával korreláló alga- és spóracsőcs jelzi. A környezeti és biotikus változás nyomait különböző módszerekkel több más, hazai és külföldi szelvényben is kimutattuk

Összegezve több szerző közelmúltban publikált radiometrikus (főként $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) kormeghatározásait a Közép-Atlanti Magmás Provincia (KAMP) bazaltjairól és ezeket összevetve a triász–jura határ revideált korával kimutatható, hogy a triász végi kihalás (~201,7 Ma) időben egybeesett a KAMP vulkáni paroxizmusával. A KAMP által gerjesztett környezetváltozások, a kezdetben fokozatos, majd a metán esemény által kiváltott hirtelen és rendkívüli felmelegedés modellje tesztelhető az élővilágra gyakorolt várható hatásoknak és a triász–jura határ körüli ősmaradvány leletanyagból megismert tényleges változásoknak az összehasonlításával. Az irodalmi adatok áttekintése azt mutatja, hogy a triász végén számos különféle tengeri és szárazföldi ősmaradványcsoport (pl. radiolariák, korallak, kagylók) szenvedett hirtelen és időben egybeeső kihalást, míg más csoportok (pl. ammoniteszek és konodonták) diverzitása hosszabb időn keresztül folyamatosan csökkent. A kihalást követő kora jura faunák és flórák kozmopolita elterjedésűek. Az élővilág talpraállása kissé késleltetett volt, a hettangi korai szakaszára nagyon alacsony diverzitás jellemző, amelyet az elhúzódó környezeti stressz okozhatott. A KAMP vulkanizmusát a triász végi kihalás fő kiváltó okaként tekintő elmélet jobban magyarázza a rendelkezésre álló őslénytani és geokémiai adatokat, mint más, alternatív elméletek [2].

A triász/jura határesemények vizsgálata megerősítését adja annak a felismerésnek, mely szerint fontos, bár nem általános érvényű időbeli egybeesés és ok-okozati összefüggés áll fenn a nagy magmás provinciák árbazalt vulkanizmusa és a tömeges kihalások között. A vizsgált eseménynél korábbi perm végi kihalás és az azzal egykorú Szibériai trap, valamint a kora jura toarci esemény és az egyidejű Karroo-Ferrar magmás provincia e korreláció további kitűnő példái [19].

Hivatkozott irodalom a projekt eredményeiből

- [1] Pálffy, J. & Ozsvárt, P. (eds.): Program, Abstracts and Field Guide. 5th Field Workshop of IGCP 458 Project (Tata and Hallein, September 2005), Hungarian Natural History Museum, 91 p., 2005
- [2] Hesselbo, S. P., Mcroberts, C. A. & Pálffy, J. (eds.): Triassic–Jurassic boundary events: Problems, progress, possibilities (Special Issue). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 244 (1–4). Elsevier, Amsterdam, 423 p. 2007
- [3] Pálffy, J., Demény, A., Haas, J., Carter, E. S., Görög, Á., Halász, D., Oravecz-Scheffer, A., Hetényi, M., Márton, E., Orchard, M. J., Ozsvárt, P., Vető, I. & Zajzon, N.: Triassic–Jurassic boundary events inferred from integrated stratigraphy of the Csővár section, Hungary, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 244: 11–33., 2007
- [4] Hesselbo, S. P., Mcroberts, C. A. & Pálffy, J.: Triassic–Jurassic boundary events: problems, progress, possibilities, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 244: 1–10., 2007
- [5] Haas, J. & Tardy-Filácz, E.: Facies changes in the Triassic–Jurassic boundary interval in an intraplateau basin succession at Csővár (Transdanubian Range, Hungary), *Sedimentary Geology*, 168: 19–48, 2004

- [6] Götz, A., Ruckwied, K., Pálffy, J., & Haas, J.: Palynological evidence of synchronous changes within the terrestrial and marine realm at the Triassic/Jurassic boundary (Csővár section, Hungary), *Review of Palaeobotany and Palynology* (Közlésre beadva), 2008
- [7] Pálffy, J. and 12 others: The Triassic/Jurassic boundary in three contrasting facies in Hungary, *Volumina Jurassica*, 4: 292-293., 2006
- [8] Ruckwied, K., Götz, A., Pálffy, J. and Michalík, J.: The Triassic/Jurassic boundary of the NW Tethyan Realm: Is there any palynological evidence for a mass extinction?, *Geological Society of America Annual Meeting, Paper #112492.*, 2006
- [9] Pálffy, J. and Mundil, R.: The age of the Triassic/Jurassic boundary: new data and their implications for the extinction and recovery, *Volumina Jurassica*, 4: 294., 2006
- [10] Yin, J., Smith, P. L., Pálffy, J. & Enay, R.: Ammonoids and the Triassic-Jurassic boundary in the Himalayas of southern Tibet, *Palaeontology*, 50 (3): 711-737., 2007
- [11] Longridge, L.M., Pálffy, J., Smith, P.L., Tipper, H.W.: Middle and Late Hettangian (Early Jurassic) ammonites from the Queen Charlotte Islands, British Columbia, Canada, *Revue de Paléobiologie (közlésre elfogadva)*, 2008
- [12] Longridge, L. M., Smith, P. L., Pálffy, J. & Tipper, H. W.: Three new species of the Hettangian (Early Jurassic) ammonite *Sunrisites* from British Columbia, Canada., *Journal of Paleontology*, 82(1): 127-138., 2008
- [13] Tomas, R. and Pálffy, J.: Revision of Early Jurassic ammonoid types from the Perşani Mts. (East Carpathians, Romania), *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 243(2): 231-254., 2007
- [14] Pálffy, J. & Tomas, R.: *Tragolytoceras* Spath, 1924 (Mollusca, Cephalopoda): proposed conservation of usage by the designation of *Tragolytoceras bonarellii* Tomas & Pálffy, 2007 as the type species, *Bulletin of Zoological Nomenclature*, 65. (in press), 2008
- [15] Barbacka, M., Pálffy, J. and Smith, P. L.: Hettangian (Early Jurassic) plant fossils from Puale Bay (Peninsular Terrane, Alaska), *Review of Palaeobotany and Palynology*, 142: 33-46., 2006
- [16] Pálffy, J., Friedman, R., Mundil, R.: Revised U-Pb ages of the Triassic-Jurassic boundary and the earliest Jurassic and their implications, 33rd International Geological Congress, Abstract no. 1346092 (közlésre beadva), 2008
- [17] Pálffy, J.: The quest for refined calibration of the Jurassic time scale, *Proceedings of the Geologists' Association*, 119(1): 85-95., 2008
- [18] Pálffy, J.: A triász végi és a kora jura tömeges kihalás, *Általános Földtani Szemle Könyvtára* 1, 76 p., 2006
- [19] Pálffy, J.: The carbon isotope record of Permian to Jurassic LIP-related extinction events, *Earth System Processes 2* (Calgary, Canada), GSA Specialty Meetings Abstracts with Programs, 1: 52. http://gsa.confex.com/gsa/2005ESP/finalprogram/abstract_88845.htm, 2005